

Thorium for dummies

Maarten Nypels, Ingenieursbureau Rotterdam, 18 september 2020

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo

Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
	Thorium	Uranium	Plutonium												



Bij een thoriumreactor draait het om het samenspel tussen U (uranium) en Th (Thorium). Thorium is element 90 in het periodiek systeem der elementen en Uranium 92 (en plutonium, waar kernbommen van worden gemaakt 94). De plek/het nummer in het periodiek wordt bepaald door de hoeveelheid protonen in de kern van het betreffende element. Thorium heeft dus 90 protonen in de kern en Uranium 92.

Nast protonen zitten er ook neutronen in de kern van een element. Protonen + neutronen bepalen de massa van een element. Die is voor thorium 232. Naast de 90 protonen zitten er dus ook $232-90=142$ neutronen in de kern van Thorium.

Omdat een atoom in zijn geheel neutraal is, en protonen een positieve lading hebben, draaien er net zoveel elektronen om de kern van een atoom als er protonen in de kern zitten. Thorium heeft $2+8+18+32+18+10+2=90$ elektronen die in 7 schillen om de kern heen draaien.

De hoeveelheid *neutronen* in een atoom kan variëren en daarmee varieert de massa van dat atoom. Die varianten noem je isotopen. Zo heeft ook Thorium verschillende isotopen. Zie het linker rijtje in de tabel hieronder. Het getal links naast de Th geeft dan de massa van het atoom aan.

Meest stabiele isotopen					
Isotoop	Relatieve aanwezigheid (%)	Halveringstijd	Vervalvorm	Vervalenergie (MeV)	Vervalproduct
^{228}Th	syn	1,9131 j	α	5,520	^{224}Ra
^{229}Th	syn	7880 j	α	5,168	^{225}Ra
^{230}Th	syn	$7,538 \cdot 10^4$ j	α	4,770	^{226}Ra
^{232}Th	100	$1,405 \cdot 10^{10}$ j	α	4,083	^{228}Ra

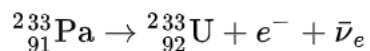
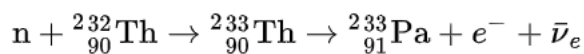
Zowel Uranium als Thorium zijn instabiele elementen. Dat wil zeggen dat ze alfaverval vertonen. Dat betekent dat ze met regelmaat een klompje van twee protonen en twee neutronen uit hun kern verliezen. Sommige isotopen van een element stoten die klompjes sneller uit dan andere isotopen. Die snelheid van uitstoten van die klompjes wordt de halveringstijd genoemd: hoe lang duurt het totdat er van bv 100 atomen 50 een klompje hebben uitgestoten.

Als een Thorium isotoop ^{232}Th “vervalt” dan wordt dit een ^{228}Ra atoom (Thorium wordt dan Radium omdat het nu nog maar 88 protonen in de kern heeft zitten) (zie de onderste regel van de tabel hierboven).

Thorium reactor

Wat gebeurt er in een thorium reactor?

1. Een ^{232}Th wordt “beschoten” met een neutron (dat dan vaak weer afkomstig is van een uranium atoom). Dat betekent dat het Thorium atoom een massa-eenheid erbij krijgt en dus ^{233}Th wordt.
2. Er treedt in de kern van het thorium dan zogenaamd Beta-verval op: een neutron in de kern wordt omgezet in een proton met uitstoting van een elektron (en een anti-neutrino, maar die vergeten we voor het gemak maar even). De massa van het ^{233}Th blijft dus hetzelfde (233, want het nieuwe proton weegt hetzelfde als het neutron waaruit het voortkomt), maar omdat het aantal protonen met 1 is toegenomen tot 91, wordt het Th nu het element ^{233}Pa (Protactinium), dat dus een plaats verder in het periodiek systeem staat (zie tabel helemaal bovenaan).
3. Vervolgens treedt er nogmaals beta verval op van het ^{233}Pa . Een neutron in het Pa atoom wordt omgezet in een proton (met uitstoting van wederom een elektron en een anti-neutrino). Omdat wederom het aantal protonen in de kern is toegenomen met 1 tot 92 heet dat element nu ^{233}U . Uranium dus. Voor de liefhebber hieronder de formulematige weergave.



4. Dit ^{233}U is een splijtbaar atoom en wordt op chemische wijze gescheiden van het Th en in een aparte ruimte gebracht. Daar vindt dan de feitelijke kernsplijting plaats door het ^{233}U weer te beschieten met neutronen. Het Uranium-atoom valt dan uiteen in twee kleinere atomen waarbij een grote hoeveelheid energie vrijkomt en twee neutronen. Die neutronen zorgen weer voor de splijting van weer andere ^{233}U atomen. Dat is de kettingreactie waarop de reactor draait. De feitelijke reactor draait nog steeds op uranium.

Enkele aanvullende feitelijkheden rondom thorium en de thoriumreactor.

1. Hoe beschikbaar is Thorium?

In promotiefilmpjes voor thorium zie je weleens mannen langs het strand lopen die beweren dat thorium oneindig beschikbaar zou zijn, bijvoorbeeld in het zand waar ze op lopen. Dat mag dan theoretisch wel kloppen: in lage concentraties wordt thorium in zand en ook in veel gesteenten aangetroffen. Maar de belangrijkste thoriumbronnen voor commerciële winning zijn de mineralen thoriëet, thorianiet en monaziet die tot wel 12% thoriumoxide bevatten. Zowat de helft van de commerciële winbare wereldreserves van 1,9 miljoen ton aan thorium bevinden zich in India. Ook de Verenigde Staten en Australië bezitten aanzienlijke voorraden thorium in hun ondergrond. Afgezien van het feit dat je niet zomaar zand in een thoriumreactor kunt scheppen lijkt de thoriumlobby hier dus een punt te hebben. De beschikbaarheid van thorium lijkt voorlopig geen probleem te vormen. Het is wel een feit dat er slechts enkele landen zijn waar thorium commercieel gewonnen wordt. Een toekomstige afhankelijkheid van deze landen is dus voorgeprogrammeerd.

2. Hoe is Nederland betrokken bij ontwikkeling van Thorium reactors?

Op de technische universiteit in Delft is een groep wetenschappers rond Jan Leen Kloosterman zeer actief met onderzoek naar de thoriumcyclus. In 2015 heeft de TU Delft 2 miljoen euro aan Europese subsidie ontvangen voor onderzoek gericht op de veiligheidsanalyses van gesmolten zout reactoren (zo heten de reactoren die Thorium gebruiken). Het onderzoek valt onder het SAMOFAR-project (Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor). Dit vierjarige Europese project valt wederom onder het Horizon 2020 Euratom-programma en heeft tot doel om een theoretische reactor te ontwikkelen, als opmaat naar een demonstratiereactor, waarin de veiligheidsaspecten goed worden onderzocht. De Technische Universiteit Delft is coördinator van dit project en werkt daarbij samen met tien andere kennisinstellingen en industriële partijen uit Frankrijk, Italië, Duitsland, Zwitserland en Mexico. De Hoge Flux Reactor in Petten zal in dit project worden benut voor het uitvoeren van stralingsexperimenten.

3. Wanneer kan er een werkende thoriumreactor in Nederland staan?

Het gaat nog enkele decennia eer er daadwerkelijk commercieel draaiende thoriumreactoren zullen zijn. De meest optimistische verwachting is 2050. Het ontbreekt volgens professor Kloosterman met name nog aan kennis over het gedrag van het zout dat met temperaturen van 700 a 800 graden C door het systeem loopt en de interactie tussen het zout en de materialen van de reactor. Onderzoek behelst onder meer de chemie om het zout te zuiveren en de zoutsamenstelling te controleren. Nieuwe materialen die onder hoge temperatuur en in een intens stralingsveld de agressieve fluoridezouten kunnen weerstaan. En geavanceerde veiligheidsanalyses van een systeem waarbij koelmiddel en splijtstof samen één medium vormt dat vrij moet kunnen uitzetten en stromen. Die opgave vraagt vele miljarden aan onderzoeksgelden en, mits dat budget er is en nu ontbreekt, nog tientallen jaren studie.

4. Is thoriumreactor een speler in de energietransitie?

Als op zijn snelst in 2050 thorium reactoren actief kunnen zijn, moet de energietransitie feitelijk al "gedaan" zijn. Op weg naar 2050 speelt deze technologie dus geen enkele rol en zal wind en zon de hoofdmoot van energieopwekking moeten verzorgen. Op de veel langere termijn kunnen deze reactoren wellicht een rol spelen. Maar dat betekent dan feitelijk weer een nieuwe energietransitie.